动 物 学 研 究 1994, 15 (3): 19—27　　CN 53-1040/Q ISSN 0254-5853
Zoological Research

嵊泗岛和杭州地区白头鹎鸣声特征比较研究*

姜仕仁 丁 平 诸葛阳
(杭州大学生物科学与技术系 杭州 310012)

摘要 本文运用计算机鸣声分析技术，对嵊泗和杭州两地白头鹎夏季的主要鸣声类型和声谱特征等方面进行了分析比较。两地白头鹎的鸣声类型，时域结构和频谱特征都有很大的差异。这可能与两地生境类型的差异有关。但在变音句鸣声的音节组合方式和单音节鸣声的构成等方面仍有共同之处。

关键词 白头鹎，鸣声，频谱分析

白头鹎(*Pycnonotus sinensis*)是浙江平原、丘陵地区常见的留鸟，多活动于村落附近和庭院的树林或灌丛中，为主要的伴居民点鸟类。而生活在远离杭州 230 km、位于杭州湾外海的嵊泗列岛上的白头鹎(简称 SB)分布岛上所有林地之中，为岛上的主要优势种。其鸣声和杭州地区的白头鹎(简称 HB)不同。有关鸟类鸣声方面的研究国内外已有一些报道，但国内对鸣声地理差异的比较研究尚未涉及。本文借助于计算机鸣声分析技术对两地白头鹎夏季的主要鸣声从声学结构和声谱特征上进行分析比较研究。

1 记录和分析方法

SB 鸣声于 1993 年 6 月底至 7 月初记录于嵊泗列岛的泗礁岛，HB 鸣声于同年 7 月上旬录音于杭州大学校园内。用 SHARP-CE-151 型录音机，“大自然”磁带和外接话筒。录音时间都为清晨及上午鸟类鸣叫的高峰时期。先对两地白头鹎鸣声的类型进行整理统计，然后用计算机对主要鸣声从时域、频域和语谱特征上进行分析。首先选出录音质量好、杂音少的鸣声，将鸣声信号经截止频率约为 300 Hz 的高通滤波器滤波，再输入计算机，经 A／D 转换器，将鸣声信号转换为数字信号贮存。计算机的采样速度为 10728 次／s。通过 SR-6602 绘图仪画出鸣声的时域波形图。并根据(朱民雄，1992)短时能量函数的定义：

$$En = \sum_{m=n-N+1}^{n} x^2(m) \cdot h(n-m)$$

以窗宽 N =107，对应时间 10 ms，对时域信号进行短时能量(En)分析，以短时能量函数图形表示鸣声能量随时间变化的状况。以快速傅里叶分析(FFTA)方法对有关鸣声信号进行频谱分析，每次分析用 256 个数据，信号实际帧长为 24 ms，等效分析带宽约 42 Hz。

---

* 浙江省自然科学基金资助项目
本文 1993 年 11 月 10 日收到，1994 年 1 月 6 日修回

频谱幅值以傅氏变换的模取对数表示，即：

$$W_{(dB)} = 20\lg\sqrt{\frac{R^2(i)+I^2(i)}{n}}$$

各音节的频率和声强均以最高频率和最大声强值进行比较。并以分段递推(每帧推移量 256 个点)对信号数据进行 FFTA，分析结果通过计算机的图形功能作出三维数字功率谱图，以便直观地看出鸣声频率随时间变化的特征。

2　结果与讨论

将两地白头鹎鸣声的录音反复放听，经整理归纳，SB 鸣声类型比 HB 具有明显的多样化，前者的鸣声类型至少有 15 种，后者常听到的有 6 种，将它们的鸣声分为变音句和单音句两大类，用拼音近似表述见表 1。

表 1　嵊泗岛和杭州白头鹎主要鸣声类型比较

Tab. 1　Comparison on the main types of song between SB and HB

句　型		SB	HB	说　明
变音句	1	ju dǔ jiaò	jue dü jiaò jù	
	2	ju dǔ jiaò dǔ		
	3	ju dǔ jiaò dǔ jiaò	jue dü jiaó jù jiaó jù	
	4	jǘ jiaó ju jiaó ju jiaó		
	5	ju jiaó ju jiaó ju dǔ jiaó		
	6	ju dǔ ju dǔ jiaó		
	7	ju dǔ ju dǔ jiaó,ju jiaó		
	8	ju dǔ ju dǔ jiaó,ju jiaó ju jiaó,ju dú		
	9	ju dǔ jiaò jiaó jiaó……		欢快声
	10	dǔ jiaó dǔ jiaó		音低而粗
	11	dǔ jiaó jǔ		音高而短促
单音句	12	qǔ	qǔ	急促
	13	qǔ、qǔ	qǔ,qǔ	急促
	14	ju ju	ju ju	低沉而快
	15	jiaó	dǔ	

SB 的所有变音句中，主要由 3 个音节构成，即 ju、dǔ、jiaó，由此构成的连续音节有“ju dǔ jiaó”、“dǔ jiaó”、“ju jiaó”和“ju dǔ”4 种，然而由此 4 个连续音节和各音节互相组合出 11 种变音句。其中“ju dǔ jiaó”是晨鸣的主句，有时仅此一句，久鸣不休。从该主句的时域波形图(图 1：a)和鸣声的三维数字功率谱图(图 2：a)中均可看出，SB 鸣声各音节之间有较宽的时间间隔，对不同个体 10 个主句中各音节的时间进行统计(表 2)表明，第 1 音节时间最短，第 3 音节时间最长。而第 1 和第 2 音节之间的间隔时间比第 2 和第 3 音节之间为长。每句鸣声持续时间约为 800 ms。在谱图上，各音节呈明显的孤岛形，因而从主观听觉上，SB 鸣声短促，一音一顿，清脆响亮。3 个音节的最高主峰频率依次分别为 2.61 ± 0.1 kHz、3.17 ± 0.05 kHz 和 2.28 ± 0.11 kHz。第 2 音节频率最高，第 3 音节最低，最高频率差约 0.9 kHz。从短时能量函数图形(图 3：a)中还可以看出该句鸣声的各音节都有较高的能量，它反映了 SB 鸣声能量分布的一般特征。相对声强分别为 57.48 ± 4.23 dB、58.13 ± 2.67 dB、58.18 ± 2.22 dB，第 1 音节略低于 2、3 音节。

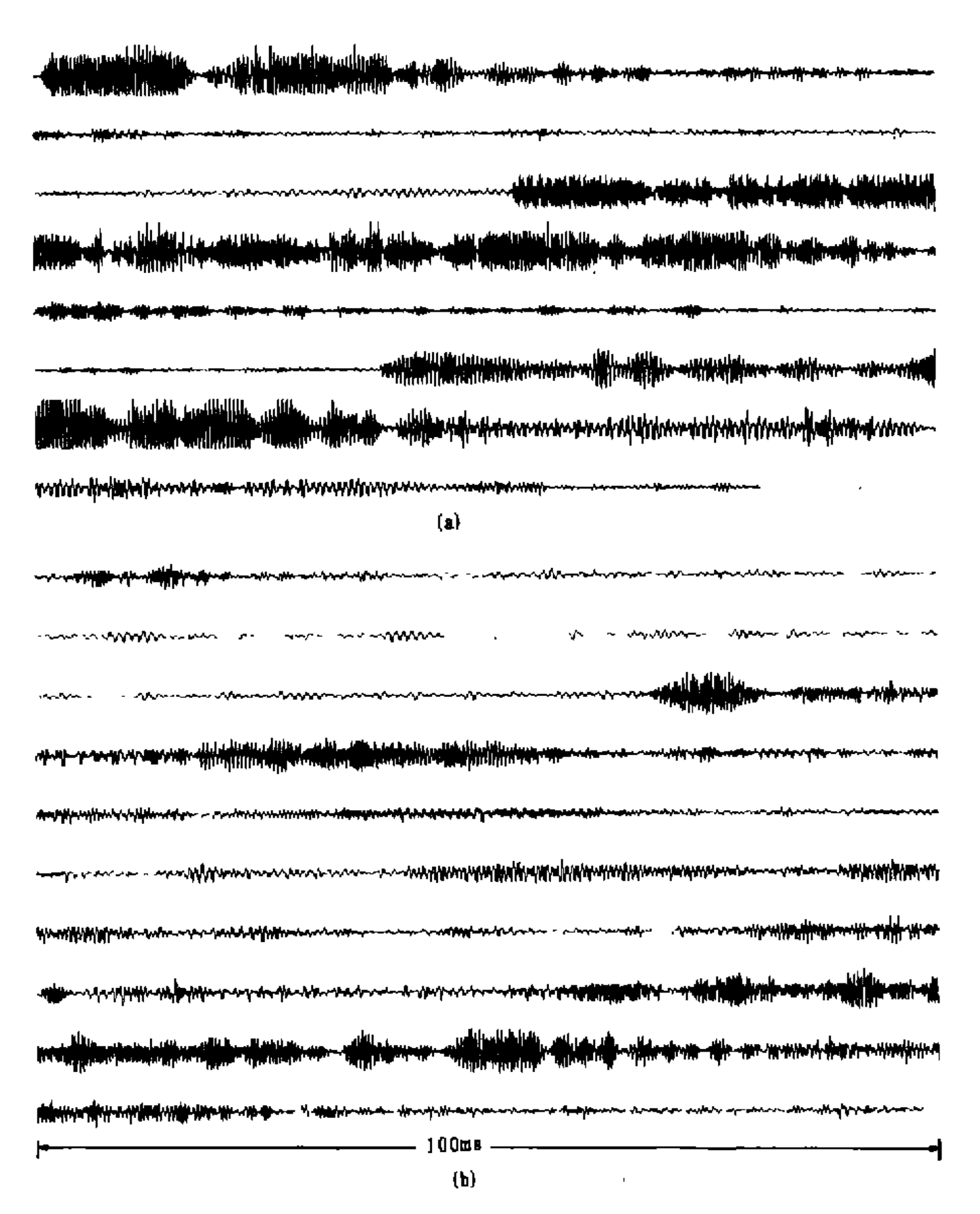
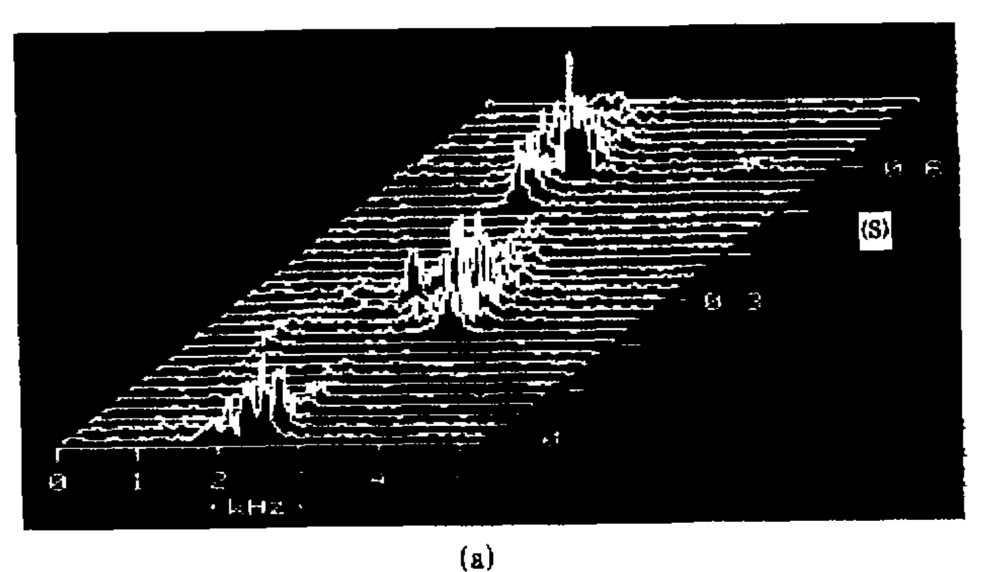


图 1　SB(a)和 HB(b)主句鸣声的时域波形图

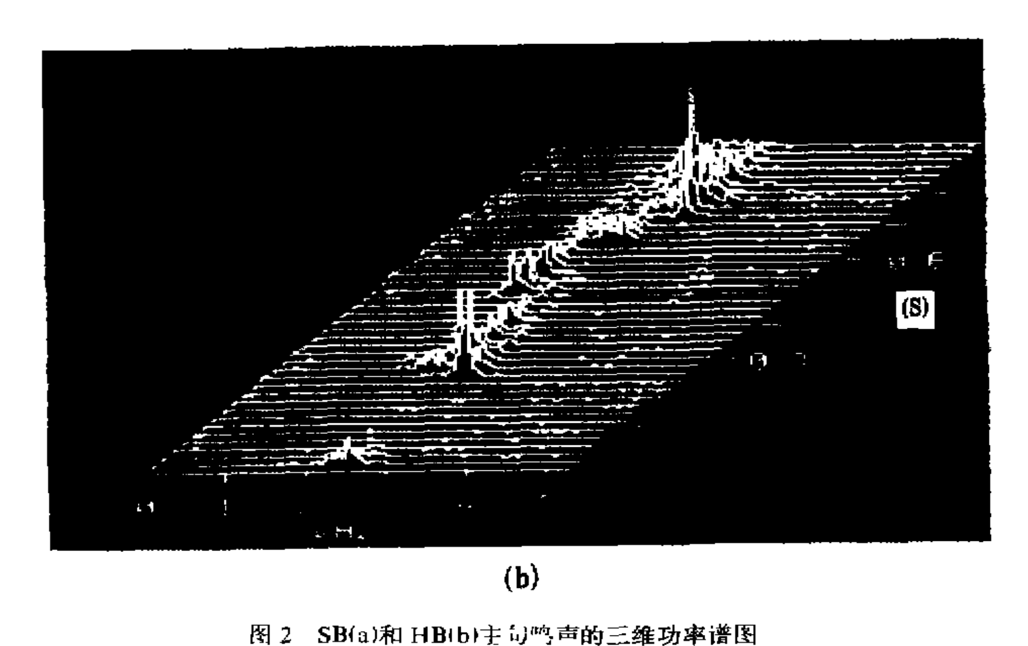
Fig. 1　Time wave of main song in SB(a) and HB(b)

HB 鸣声的变音句中主要有 4 个音节构成，即"jue、dü、jiaó、jù"，但基本的连续音节只有 2 个，即"jue dü jiaó jù"和"jiaó jù"。前者也是 HB 晨鸣时的主句，两个词之间的组合也很单调，只是在主句的后面重复后两个音节，即构成表 1 中的第 3 种句型。对 HB 鸣声主句的时域波形(图 1：b)及其三维数字功率谱(图 2：b)分析可知，HB 鸣声除第 1 音节之外，其余音节之间的间隔不如 SB 那样明显，几乎是相连续的。对 10 句鸣声的统计分析得，全句鸣声共持续时间 1076.65 ± 58.2 ms，各音节的最高主峰频率分别为 2.38 ±

0.15 kHz、2.49±0.05 kHz、1.84±0.02 kHz 和 2.69±0.07 kHz。以第 4 音节频率最高，第 3 音节频率最低、两者频率之差约为 0.85 kHz。相对声强依次分别为 47.81±6.86 dB、59.19±3.68 dB、54.67±4.81 dB 和 59.00±4.53 dB，以第 2 音节最高，第 1 音节最低，第 3 音节比第 2 音节低 4.52 dB。从短时能量函数图形(图 3：b)可以看出，HB 鸣声的能量主要集中在最后一个音节上。此外，由于第 1 音节时间短，仅为 40.58±22.48 ms，平均频率仅比第 2 音节低 0.1 kHz、平均声强比第 2 音节低 11.38 dB，故而从主观听觉上有时不易分辨。



(a)



(b)

图 2 SB(a)和 HB(b)主句鸣声的三维功率谱图

Fig. 2 Three-dimentional power spectra of main song in SB (a) and HB (b)

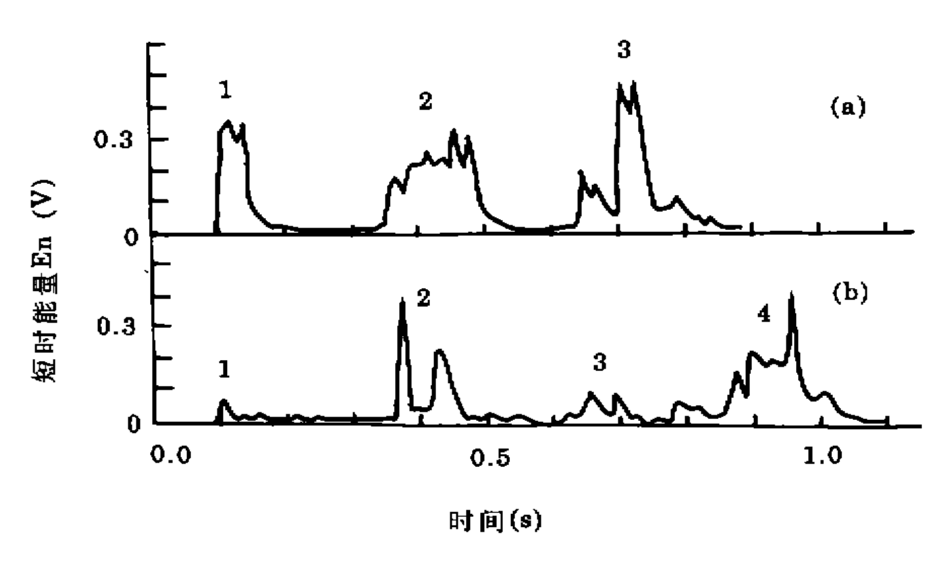


图 3　SB(a)和 HB(b)主句鸣声短时能量比较

Fig. 3　Comparison on *En* of main song between SB (a) and HB (b)

表 2　SB 鸣声各音节的时间参量(单位: ms)

Tab. 2　The time of every syllable in SB song (unit:ms)

音节	ju	—	dǔ	—	jiaó	全句长
平均长	79.83	200.17	171.74	124.77	224.42	800.88
标准差	25.35	44.34	20.15	31.31	6.58	37.86
变异系数	0.32	0.22	0.12	0.25	0.03	0.05

表 3　SB 和 HB 单音节鸣声的功率谱特性比较

Tab. 3　Comparasion of spectrum character of calling sounds in SB and HB

地区鸟	主峰频率(kHz)	频宽 kHz
SB	2.4 ± 0.08	1.05 ± 0.26
HB	3.3 ± 0.13	0.57 ± 0.15

本研究同时表明，对同一地域的白头鹎在同一变音句鸣声中如有相同音节时，则相同音节具有相似的时域波形结构和频谱特性。如某句 SB 鸣声“ju dǔ jiaó dǔ jiaó”的 5 个音节中(图 4：a)，后两个重复音节与前面有相似的时域波形结构，频谱特征也很相似（图 4；b–e），这表明鸟类的鸣声中具有基本音节。

不同地域的白头鹎的单音句鸣声在听觉上十分相似，都为急促的“qǔ”声或连续两声，但它们的时域波形和频谱特性却明显不同(图 5)，而且其鸣声的时间长度也存在差异，SB 为 106.64 ± 7.86 ms；HB 为 133.97 ± 13.75 ms。以间隔 21 ms 对鸣声信号进行频谱分析，主峰频率变化如图 6 所示。分别自 42 ms 处进行功率谱分析，并以相对声强 45 dB 处的频宽，两者的功率谱特性比较见表 3。

然而，同一地区的不同个体，在鸣声类型、时域和频域都很相似。但不会绝对相同。这种个体间的差异可能对种群内个体识别有意义。同一个体在连续同样的鸣声中，在鸣声结构上也有细小差异，这可能与发音时刻的能量有关。

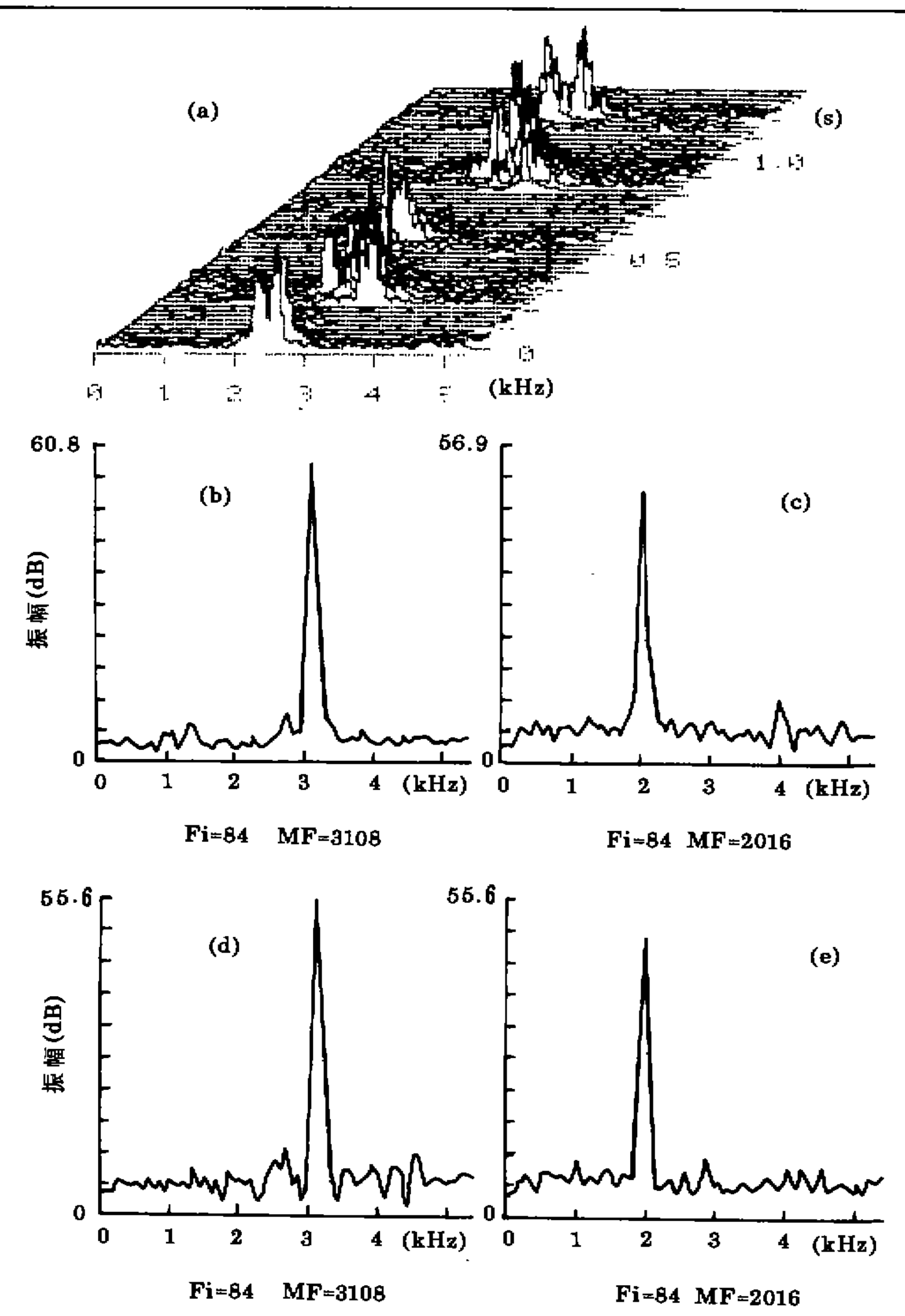


图4 SB五音节鸣声的三维功率谱图(a)及2-5音节开头12 ms的频谱图(b-e)

Fig. 4 Three-dimentional power spectrum (a) of five syllable song in SB and power spectra (b-e) of last four syllables begening of 12 ms

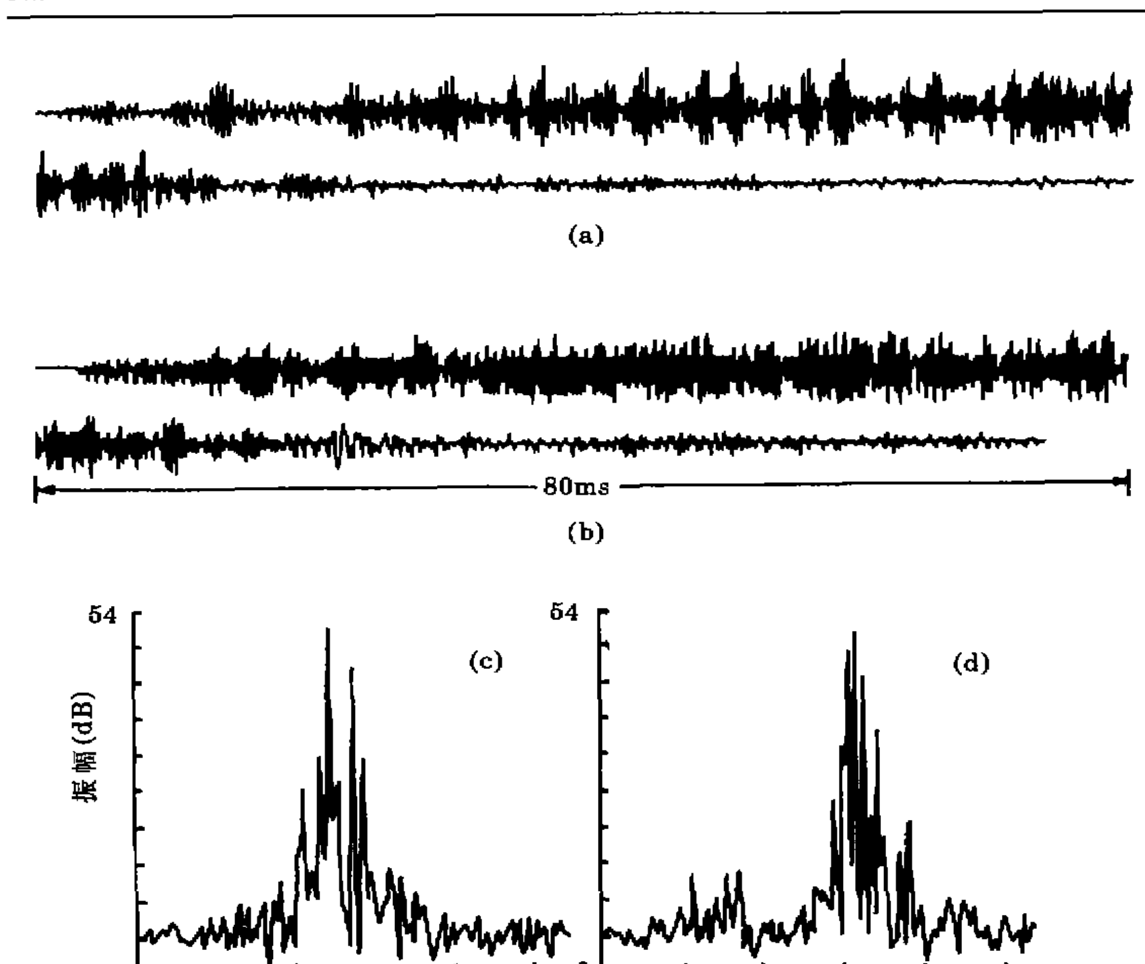


图 5　SB(a、c)和 HB(b、d)单音节鸣声的时域波形和频谱比较

Fig. 5　Comparison on the time wave and spectrum of calling sound between SB (a, c) and HB (b, d)

从上述结果可见，两地白头鹎鸣声的差异很大，造成这种鸣声差异的原因是多方面的。Morton(1975)和 Chappuis(1971)认为鸟类鸣声的结构与生境有关。Nottebohm (1975)和 Hunter (1979)等研究亦表明种内鸣声的地理差异往往与生境类型有关，并认为在较开阔生境中的鸟类鸣声比那些森林鸟类具有较高的最大频率，较快的音调重复和更宽的频率范围。而森林鸟类的鸣声相对频率较低，能量集中在较窄的频带内，以便将声音传播得更远。因而，两地白头鹎鸣声的差异很可能主要是由于生境类型差异和长期自然选择的结果。海岛环境比较单一、植被以低矮的针叶林为主；而杭州园林中以高大的常绿和落

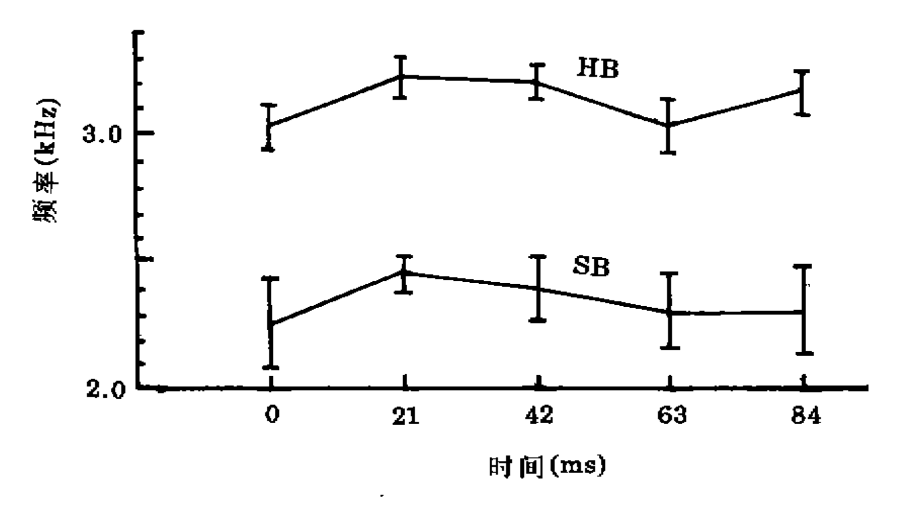


图 6 SB 和 HB 单音节鸣声主峰频率变化

Fig. 6 Variations of MPF in calling sound of SB and HB

叶阔叶树为主。可见，SB 变音句鸣声频率比 HB 高，重复的音节也更复杂，频带也明显宽于 HB(见图 2)，尽管 HB 单音节鸣声的 MPF 高于 SB，但 HB 的 45 dB 带宽明显小于 SB，能量较集中。这些可能是 SB 和 HB 从声行为上对各自环境适应性的一种表现。

但是，尽管两地白头鹎的鸣声特征差异很大，也有某些相似的特性：如变音句鸣声中都由一基本的主句；较复杂的变音句都由主句和其他音节或连续音节构成；音节的组合也有共同之处，如第 3 种句型中，都有主句加上后两个音节重复组成；单音句的鸣声构成都为急促的"qu"声或连续两声等。

在上述两地之间有无鸣声的过渡类型，以及其他生境个体的鸣声有无变化，有待进一步研究。

参 考 文 献

朱民雄，1992. 计算机语音技术. 北京：北京航空航天大学出版社. 39—88.

刘淑媛，1986. 用计算机绘制语音信号波形的方法及其在语音信号处理中的应用. 应用声学，7(2)：17—20.

姜仕仁，王 汀，葛 滢等，1993. 计算机辅助生物学实验与研究，成都：电子科技大学出版社，164—177.

高育仁，1991 中国鸟类研究. 北京：科学出版社，71—73.

Chappuis C, 1971. Un example de'l influence du milieu sur les émissions vocales des oiseaux: l' evolution des chants en forêt equitoriale. *Terre Vie*, **25**: 183–202.

Hunter M L, J R Krebs, 1979. Geographical variation in the song of the great tit (*Parus major*) in relation to ecological factors. *J. Anim. Ecol.*, **48**: 759–785.

Krebs J R, N B Davies, 1987. An Introduction to Behavioural Ecology. *Sinauer Associates*, inc: 322–328.

Morton E S, 1975. Ecological sources of selection on avian sounds. *Amer. Natur.*, **109**: 17–34.

Nottebohm F, 1975. Continental patterns of song variability in *Zonrichia capensis*: some possible ecological correlaties *Amer. Natur.*, **109**: 605–624.

THE COMPARATIVE STUDIES ON THE CHARACTERISTICS OF CHINESE BULBUL SONGS BETWEEN SHENSI ISLAND AND HANGZHOU AREA

Jiang Shiren Ding Ping Zhuge Yang

(Department of Biological Science and Biotechnology, Hangzhou University, Hangzhou 310012 *P. R China)*

Abstract

The comparative studies on the characteristics of Chinese bulbul (*Pycnonotus sinensis*) songs between Shensi Island and Hangzhou area have been made in this paper with computer analysis techniques.

The results shows that there were 15 song types in the bulbuls of Shensi Island (SB) and 6 in the bulbuls of Hangzhou (HB), and their trills were composed of a main sentence, including 3 syllables in SB and 4 in HB, and some other single syllables. Although there were some same characteristics on the composition of the song syllables and the way of calling between SB and HB, there were many different characteristics on the song structure between them. The intermission between syllables, for example, in SB's main sentence was longer than in HB's. The maximum MPF of the SB's main sentence was located in 2nd syllable minimum in 3rd syllable, and the powers and *En* values of the all syllables were high and no obvious difference. The total time of the SB's main sentence duration was 800.88 ± 37.86 ms. In the HB's main sentence, there were no visible syllable intermissions besides between 1st and 2nd syllables, and the maximum MPF was located in 4th syllable and minimum in 3rd one. The power of all syllables were difference in HB's, and the *En* was mainly distributed in last syllable. The total lasting time of the HB's main sentence was 1076.65 ± 58.2 ms.

From the results, we also could know that the calling song had much more difference on the structure of temporal waves and power spectrum of the single syllable between SB and HB. The differences of the bird's song structure between SB and HB might be correlated with their habitats.

Key words *Pycnonotus sinensis*, Song, Power spectrum